

Génération temps réel de données numériques/symboliques par fusion temporelle multi-capteurs

Real-Time Numerical/Symbolic Data Generation by Multi-Sensor Data Fusion

par Michèle ROMBAUT

UTC/HEUDIASYC URA CNRS 817
BP 649, 60206 Compiègne Cedex, France
e-mail rombaut@hds.univ-compiegne.fr

Résumé

L'article présente un système de fusion de données multicapteurs. Ce système traite des données qui proviennent de capteurs placés sur un véhicule mobile se déplaçant dans un environnement dynamique. Cette caractéristique dynamique implique qu'il est nécessaire de vérifier la cohérence temporelle des données et donc d'en réaliser le suivi temporel. Dans le but de les fiabiliser, les données sont fusionnées en utilisant des concepts symboliques. Elles seront ensuite utilisées par un système à base de connaissances constituant la partie décision du système. Le module de fusion a été mis en œuvre dans un système d'aide à la conduite sur véhicule réel (Peugeot 605) dans le cadre de recherches Prometheus.

Mots clés : Fusion de données, Multi-capteurs, Véhicules intelligents.

Abstract

This paper presents a multi-sensor data fusion module for an intelligent vehicle. The reports come from the sensors placed on the demonstrator. The environment is dynamic that means the obstacles moves near the demonstrator. The temporal coherency of the data is verified in order to increase the reliability. Symbolic concepts are used for reasoning in the fusion module, and are transmitted to the high level modules. This system has been developed to realise a driving assistance on a real vehicle named ProLab2 in the Eureka Prometheus program.

Key words : Data fusion, Multi-sensor, Intelligent vehicles.

1. Introduction

Le rôle d'un système de fusion multi-capteurs implanté sur un véhicule automobile est d'apporter une représentation la plus complète et la plus fiable possible de la situation dynamique du véhicule et de son environnement. Cette représentation est ensuite utilisée par les modules de plus haut niveau dont le rôle est de diagnostiquer la situation, de l'analyser en vue de détecter les dysfonctionnements et les états nécessitant le déclenchement d'une alarme ou de contrôler directement le véhicule.

Le système de perception a pour rôle d'observer l'état du processus mais aussi son environnement. Cela nécessite l'utilisation d'un certain nombre de capteurs de même type ou de type différents. On obtient des informations qui sont ensuite fusionnées afin d'accroître la connaissance que l'on peut avoir sur le système [1]. Le nombre et la qualité des capteurs dépendent de nombreux

paramètres qui sont, par exemple, la fonctionnalité recherchée, les possibilités techniques d'observations, les restrictions financières, techniques et autres. Le système de perception est formé de sous-systèmes, chacun d'eux composé d'un *capteur physique* qui capte une « image » et d'un *capteur logique* qui correspond au système de traitement de données associé. Les données en sortie du capteur logique sont d'un plus haut niveau d'abstraction que l'image provenant du capteur. Par abus de langage, nous appellerons *capteur* l'association capteur physique/capteur logique.

Le domaine de la fusion de données est très récent. Les principales applications connues concernent essentiellement l'imagerie telles que la fusion d'images satellitaires, ou la fusion d'images médicales. Le domaine d'application auquel nous nous intéressons pose des problèmes de nature très différente. En effet, le véhicule se déplace dans un environnement dynamique, l'évolution de la situation dans le temps ne peut être négligée. Le temps prend alors une importance considérable car une situation vraie à l'instant t

peut être complètement obsolète à l'instant $t + \Delta t$. Le rôle du système de fusion est donc de générer une image de la situation qui soit cohérente au niveau du temps. Dans [2], Thomopoulos parle de fusion au niveau dynamique.

Les applications concernées par ce type de systèmes de fusion sont, en outre, la robotique mobile, l'aviation, la conduite automobile.

Au LAAS, dans le cadre du programme EDEN, le robot ADAM doit effectuer une mission en environnement inconnu (exploration planétaire) [3]. Ce robot possède un certain nombre de capteurs qui sont : un capteur inertiel 3 axes, 6 codeurs odométriques sur les 6 roues, 6 codeurs optiques sur les suspensions, 1 télémètre laser avec un miroir défecteur et deux caméras couleurs possédant un axe de rotation. L'une des fonctions que doit remplir le robot est de reconstruire un modèle de son environnement proche au moyen d'une carte d'élévation digitale (Digital Elevation Map). Il utilise pour cela une série de prises de vue de l'environnement proche à l'aide de son capteur télémètre laser ainsi qu'une reconstruction de son mouvement à l'aide de ses capteurs proprioceptifs.

A l'université de Perdue, au *Robot Vision Laboratory*, A.C. Kak propose un système de navigation pour un robot mobile d'intérieur basé sur la vision, ne nécessitant pas d'arrêt du robot. Ce système est appelé FINALE-II [4]. Pendant le déplacement du robot, le capteur prend une image de l'environnement, puis le système de vision détecte les balises qui permettent de positionner le robot dans son environnement. Cette position est réactualisée en fonction du déplacement qu'a effectué le robot pendant le traitement d'image.

Dans le domaine militaire, M. Mariton à MATRA CAP SYSTEMES propose un système de fusion de données pour réaliser un suivi de cibles manœuvrantes [5]. La méthode consiste à utiliser un capteur optronique afin d'obtenir une image de la cible manœuvrante. Associée à une information de position, elle permet de traduire quasi instantanément la manœuvre en fonction de l'attitude de la cible.

Pour les Systèmes d'Information et de Communication des Armées (SIC), Y. Pollet de MATRA CAP SYSTEMES propose un système de fusion de données dans le but d'élaborer une représentation d'informations sous forme d'objets [6].

Dans le domaine de l'automobile, on peut citer le module de fusion de données proposé par D. Berchandy [7] sur le démonstrateur ProChip 2.

Le système que nous présentons a été développé dans le cadre du Programme Européens Prométhéus, dans lequel nous avons mis au point un système d'aide à la conduite sur un démonstrateur réel appelé ProLab2 [8]. Nous commencerons donc par présenter sommairement ce démonstrateur dans le paragraphe 2 et particulièrement son système de perception.

Après avoir décrit, dans le paragraphe 3, les objectifs de la fusion de données, nous présentons dans le paragraphe 4 les problèmes que doit résoudre le système de fusion temporel (retard

sur les données, non-monotonie d'apparition des données) et les solutions que nous proposons.

Le rôle du système de fusion est aussi de fiabiliser les données, de les compléter et de les présenter de façon facilement exploitable. Pour ceci, nous avons utilisé une représentation de type objet qui permet d'associer à chaque donnée numérique un modèle symbolique, des caractéristiques propres et des comportements possibles.

L'association des données numériques/symboliques accroît les capacités du système de fusion. La description de la fusion symbolique est présentée dans le paragraphe 5.

L'originalité de l'approche que nous proposons est l'utilisation de façon simultanée et complémentaire des méthodes numériques et symboliques.

2. Le démonstrateur Prolab 2

2.1. LES FONCTIONALITÉS GLOBALES

ProLab2 est un système d'aide à la conduite, réactif à l'évolution de l'environnement, qui permet d'aider, à tout moment le conducteur dans des situations classiques de conduite en ville, sur route et autoroute.

Il a été réalisé dans le cadre du programme européen Prometheus [9] et plus particulièrement dans le sous-programme ProArt dont le but est d'étudier la possibilité d'introduire l'intelligence artificielle dans l'automobile.

Le groupe ProArt France est formé de 9 laboratoires de recherches appartenant au CNRS, l'INRIA, les Ecoles de Mines, et des laboratoires universitaires, ainsi que deux constructeurs automobiles, PSA et RENAULT.

ProLab2 est réalisé sur une Peugeot 605. Les situations traitées sont génériques des situations habituelles lors d'une conduite normale. Ce prototype a été présenté au Board Members' Meeting 94 qui a lieu à Morte Fontaine en France en octobre 1994.

Le rôle du démonstrateur est d'assister le conducteur lors de la réalisation de manœuvre et de l'informer des dangers potentiels ou réels lorsqu'il est en situation de conduite. Les autres véhicules ne sont pas coopérants c'est-à-dire qu'ils ne sont pas équipés de systèmes particuliers qui les rendraient différents des véhicules actuels. L'infrastructure n'est pas différente de celle qui existe aujourd'hui mise à part les balises actives qui remplacent la signalisation verticale.

Le dispositif placé dans le véhicule doit donc analyser la situation, prévoir le comportement du conducteur ainsi que celui des autres véhicules afin de déterminer les dangers réels (vitesse trop grande) ainsi que potentiels (manœuvre de dépassement dangereuse) pour en avertir le conducteur.

2.2. STRUCTURE GLOBALE

La structure du démonstrateur peut être décomposée en deux grandes parties, l'une qui correspond à l'évaluation de la situation et l'autre à son interprétation. La structure globale est présentée sur la figure 1.

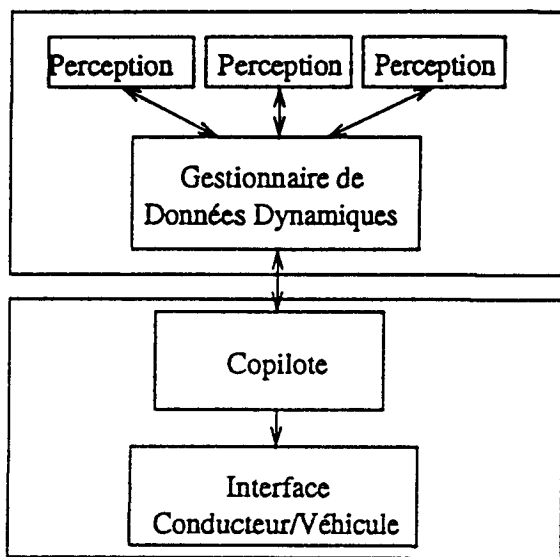


Figure 1. – Structure globale.

Pour pouvoir interpréter la situation, il est nécessaire d'en avoir une représentation adaptée et fiable. Nous avons donc placé sur le véhicule un certain nombre de capteurs qui permettent de déterminer l'état du véhicule (vitesse, accélération, ...), l'état de l'environnement statique (nombre de voies, type de ligne, ...) et enfin l'état de l'environnement dynamique (position des autres véhicules, ...).

Les informations provenant des capteurs sont ensuite fusionnées pour donner au copilote une image la plus proche possible de la réalité. De même, on construit aussi une image de l'état dynamique du véhicule (potentialité d'accélération, ...).

Le copilote analyse la situation et lorsqu'il détecte un ou des dangers, il envoie un message vers l'interface conducteur/véhicule qui a pour rôle de présenter « au mieux » l'information au pilote.

2.3. LE SYSTÈME DE PERCEPTION

Le système de perception a été défini de telle sorte qu'il satisfasse au mieux les deux critères qui sont antagonistes :

- il doit permettre d'obtenir une information complète et fiable,
- il doit satisfaire aux contraintes de limite de place, d'énergie, de puissance de calcul, et aux contraintes financières.

Compte tenu de ces critères, le système de perception ne couvre que les besoins les plus importants.

L'ensemble des capteurs placés sur notre véhicule doit permettre d'obtenir les mêmes informations que celles nécessaires au conducteur qui a la charge de réaliser la manœuvre.

Le premier type de données que perçoit le conducteur correspond aux sensations qu'il ressent, dues au mouvement de son véhicule, par exemple lors d'un freinage ou dans un virage. Ces impressions lui donnent une image de l'état dynamique de son véhicule, ce sont des informations proprioceptives. Nous avons donc placé dans le véhicule des capteurs qui permettent d'évaluer :

- les accélérations longitudinales et latérales,
- la vitesse de rotation du véhicule,
- le freinage sur les roues,
- la vitesse de rotation des roues,
- l'angle du volant,
- la vitesse de rotation du moteur,
- l'état du clignotant.

Le conducteur doit ensuite déplacer son véhicule sur la chaussée. Pour cela, il faut qu'il perçoive et reconnaisse celle-ci afin de positionner correctement son véhicule en respectant les règles de la conduite. Nous avons placé une caméra au niveau du rétroviseur central vers l'avant du véhicule pour reconnaître la route, la signalisation horizontale et la situation du véhicule sur la voie.

Enfin, le conducteur n'est pas seul sur le réseau routier. Il le partage avec d'autres usagers dont il faut tenir compte. Nous n'avons pu équiper notre véhicule d'un nombre suffisant de caméras pour couvrir entièrement toute la zone l'entourant. Notre système possède des zones aveugles mais qui sont gérées automatiquement, ce qui permet de garder en mémoire l'ensemble des obstacles entourant notre véhicule. Les capteurs ont été essentiellement tournés vers l'avant. Nous avons donc :

- un capteur 3D formé d'une caméra associée à une télémètre laser situé sur le pare choc-avant [10],
- deux caméras linéaires permettant de faire de la stéréo vision, situées au niveau des phares avant [11],
- deux caméras situées à l'avant du véhicule et orientées vers le côté [12],
- une caméra à l'arrière jouant le rôle de rétroviseurs [13].

Les informations passées au copilote sont toutes référencées par rapport au repère véhicule.

Les capteurs travaillent de façon asynchrone et à des fréquences différentes. Ils nous donnent des informations parfois redondantes, parfois complémentaires. Certaines données sont manquantes à cause du nombre restreint de capteur. Il est donc nécessaire de faire une gestion et une fusion de ces données dynamiques, pour obtenir une image la plus complète possible de l'état du système.

3. Les objectifs de la fusion

L'objectif de la fusion de données est de fournir l'état du véhicule et de son environnement dynamique, mis à jour à tout instant.

L'état d'un objet est défini par un certain nombre d'attributs qui le caractérisent complètement. La valeur de l'état à un instant donné est définie par l'ensemble des valeurs de ces attributs au même instant.

L'état propre du véhicule est défini par ses vitesses et accélérations (longitudinales et latérales), le clignotant, et les commandes du conducteur (pédales de frein et d'accélération).

Ensuite, on détermine l'état des objets correspondant à l'environnement statique. Il s'agit de zones d'intérêt qui ont été définies conjointement avec les personnes développant le copilote. Une zone est un objet défini par :

- un type : voie avant droite, passage piéton, ...
- une situation qui correspond à la position/orientation du repère associé à la zone par rapport au repère associé au démonstrateur.
- l'imprécision sur la connaissance de la situation,
- des caractéristiques géométriques telles que la largeur, la longueur, la courbure, ...
- des caractéristiques telles que le type de ligne délimitant la voie (ligne continue, discontinue, ...)

Enfin, on définit l'état des obstacles qui se déplacent dans l'environnement proche, les véhicules, les piétons et les animaux. Un obstacle est un objet défini par :

- un type : automobile, camion, piéton, vélo, ...
- une situation qui correspond à la position et la vitesse de l'objet par rapport au repère associé au démonstrateur,
- l'imprécision sur la connaissance de la situation,
- l'incertitude sur l'existence réelle de l'objet,
- des caractéristiques physiques telles que la largeur de l'obstacle,
- des modèles d'évolution possibles (modèles cinématiques),
- des contraintes cinématiques et dynamiques (vitesses maximales, accélérations maximales).

Certains attributs des objets sont constants et propres à l'objet. D'autres attributs sont variables dans le temps. C'est le rôle de la fusion de données d'estimer la valeur de ces attributs ainsi que gérer la disparition ou l'apparition des objets au cours du temps. Enfin, le module de fusion doit présenter ces objets de façon à ce qu'ils soient accessibles le plus facilement possible par les modules de plus haut niveau.

4. La fusion temporelle

4.1. LES CONTRAINTES LIÉES AU TEMPS

Lors de la fusion multi-capteurs, un certain nombre de problèmes apparaissent lorsque la dynamique du système observé ainsi que celle du système de perception ne sont pas négligeables.

Les deux problèmes à résoudre sont la prise en compte du temps de retard dû au traitement des données et la non-monotonie des données.

4.1.1. Retard des données

Un capteur est composé de deux parties : la première est l'élément qui transforme la donnée physique à mesurer, en donnée électrique (numérique ou analogique) qui est ensuite traitée. Cet élément est appelé capteur physique. La deuxième partie est celle qui concerne le traitement de l'information afin de la mettre sous une forme « utilisable » pour les systèmes à qui elle est destinée. Cet élément est généralement appelé capteur logique. L'ensemble capteur physique/capteur logique constitue, par abus de langage, le capteur i et émet la donnée Y_i . Lorsque le capteur logique est évolué (système de traitement d'images par exemple), le temps de traitement des données entre la captation de la donnée physique et la disponibilité du résultat n'est pas négligeable. Un capteur i qui capte une image k à un instant $t_{i,k}$ ne transmettra l'information Y_i correspondante qu'à l'instant $(t_{i,k} + T_i)$ où T_i est le temps de calcul.

Les données provenant des capteurs sont caractéristiques de l'état du procédé au moment où a été captée la donnée physique. Il faut donc que la date de captation de la donnée soit mémorisée afin de pouvoir l'associer à la donnée en sortie $Y_i(t_{i,k})$ du capteur. Ceci nécessite l'utilisation d'une horloge commune à l'ensemble des capteurs ainsi qu'au système de fusion.

4.1.2. Non-monotonie d'apparition des données

Les capteurs ont souvent un fonctionnement monotone, c'est-à-dire que les données arrivent dans l'ordre où elles ont été captées : $Y_i(t_{i,k})$ arrive avant $Y_i(t_{i,k+1})$. Par contre, le système de perception formé par tous les capteurs est non monotone. Ceci est dû au fait que le fonctionnement des capteurs est asynchrone, chaque capteur travaillant indépendamment des autres. Soient, par exemple, deux capteurs i et j ayant respectivement des temps de calcul de T_i et T_j . Une image est prise par le capteur i à l'instant $t_{i,k}$ et une autre à l'instant $t_{j,k}$ par le capteur j . On suppose que $t_{i,k} < t_{j,k}$ et que $T_i > T_j$. Alors, il est possible que la donnée provenant du capteur j parvienne au système de fusion avant celle provenant du capteur i . Une donnée peut donc arriver « en retard » par rapport à une donnée plus récente. Le système de fusion doit cependant en tenir compte car celle-ci peut apporter de l'information pour accroître la connaissance du système.

La fusion de données provenant de capteurs de même type ou de types différents ne peut être réalisée que si les données correspondent à l'état du système au même instant. Or celles-ci ne sont disponibles pour le système de fusion qu'après un certain retard T_i dû au traitement. Cela signifie que le système de fusion doit être doté d'un mécanisme de prédiction afin de pouvoir recalculer les informations dans le temps. De plus, les données fusionnées sont ensuite utilisées par d'autres systèmes (contrôle ou diagnostic) qui nécessitent la connaissance de l'état du système à l'instant présent t_g (et pas au moment où a été prise la dernière mesure).

4.1.3. Structure globale de la fusion temporelle

La structure globale du système de fusion temporelle est décomposée de la manière représentée figure 2. Pour un capteur, le module **Etat** représente l'état des objets vus par ce capteur à la date de la dernière observation. Les données arrivant en retard sont donc utilisées pour affiner la connaissance de l'état. Un mécanisme de prédiction permet ensuite de recalculer les informations provenant des différents capteurs. Les opérateurs de prédiction utilisent le modèle cinématique des objets et du démonstrateur, et des opérateurs d'estimation utilisent les données transmises par les capteurs et de l'état prédit du système.

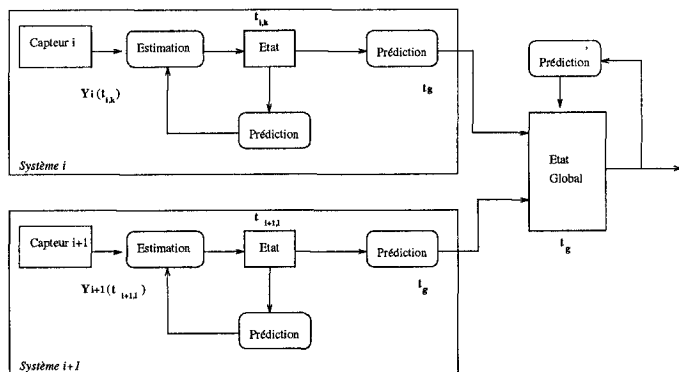


Figure 2. – La fusion temporelle.

Pour chaque capteur i de fonctionnement monotone, le système de fusion assure le suivi temporel de l'état. Puis un mécanisme de prédiction amène les données à l'instant t_g , temps global qui correspond au temps présent. Enfin, le système réalise la fusion multicapteurs de données correspondant à la même date t_g . On peut éventuellement avoir un mécanisme de prédiction lorsque t_g évolue sans que de nouvelles données n'arrivent au système de fusion.

4.2. REPRÉSENTATION PAR CARTES

Un capteur placé sur le démonstrateur peut observer simultanément plusieurs observateurs. Nous avons regroupé l'ensemble de ces objets situés dans la zone d'observation d'un capteur

dans une carte associée à ce capteur. Nous avons donc une *carte infrastructure* contenant les objets de type zones d'intérêt et 5 *cartes obstacle i* contenant les objets de type obstacle. L'état des objets est maintenu à jour par des filtres Estimateur/Prédicteur (filtres de Kalman) [14]. Lors de l'arrivée de données d'un capteur, le système réalise une mise en correspondance des éléments observés et des éléments connus dans la carte à partir du calcul de la distance de Mahalanobis [15]. L'état de l'objet est estimé en fonction de son état prédit et de la nouvelle mesure. La figure 3 représente la structure d'une carte avec deux éléments. La carte- i représente donc les états des objets vus par le capteur- i au temps $t_{i,k}$. Les données de toutes ces cartes sont ensuite prédites jusqu'au temps présent t_g (temps global) afin de réaliser une fusion multicapteurs.

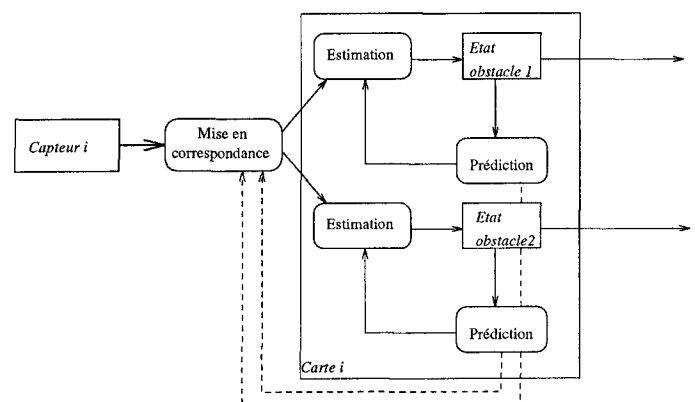


Figure 3. – Fusion temporelle.

Compte tenu que, sur le démonstrateur, plusieurs capteurs voient le même type d'objets (obstacles), une première fusion est faite au niveau des cartes obstacles pour donner la carte globale représentant l'état de tous les obstacles environnant le véhicule. Les capteurs associés sont parfois redondants (ils peuvent voir le même objet), parfois complémentaires (si leur champs de vision ne se recouvrent pas). La carte globale est maintenue à jour par des filtres prédicteurs/estimateur (un pour chaque obstacle) [14]. Les mesures d'entrée des filtres estimateurs sont, cette fois, les prédictions des obstacles des cartes obstacle- i . Le système réalise une mise en correspondance entre les objets des cartes obstacle- i et ceux de la carte globale en calculant la distance de Mahalanobis et crée un lien. Cette structure a été développée en collaboration par l'INRIA Sophia-Antipolis et Heudiasyc (URA CNRS 817, UTC), [16][17]. La figure 4 présente cette architecture.

Un des objectifs de la fusion de données est de présenter les informations de telle sorte qu'elles soient facilement exploitables. Le deuxième niveau de fusion a pour rôle de placer les obstacles de la carte globale dans les zones de la carte infrastructure pour obtenir la carte *copilote* utilisée pour le diagnostic de situation. Cette affectation peut être réalisée grâce à la connaissance de la géométrie de l'objet et de sa position par rapport au repère associé au démonstrateur. Dans cette carte, la situation des obstacles est définie dans le repère \mathcal{R}_j associée à la zone j . La figure 5

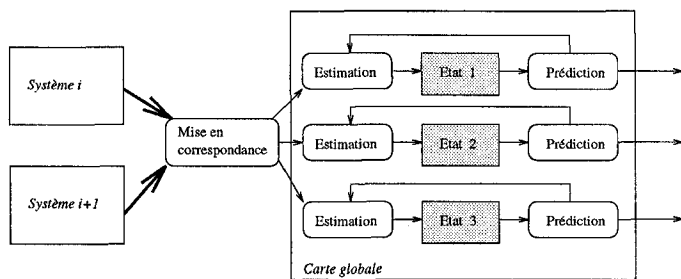


Figure 4. – Fusion multicapteur.

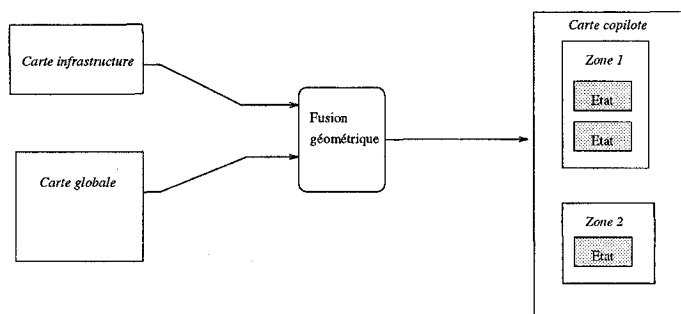


Figure 5. – Fusion géométrique.

présente cette architecture. Pour l'instant, nous n'avons réalisé qu'une affectation par méthode géométrique sans tenir compte des imprécisions sur les éléments des cartes. Par la suite, on peut envisager d'utiliser des méthodes moins « brutales » telles que l'utilisation de sous-ensemble flous pour l'affectation des obstacles dans les zones.

Comme on peut le remarquer, pour toutes les cartes sauf la carte copilote, les éléments sont référencés par rapport au repère associé au véhicule R_v . Or celui-ci se déplace au cours du temps. Pour pouvoir prédire la situation des éléments des cartes, il faut connaître le mouvement du véhicule entre deux instants particuliers. Ceci est réalisé à l'aide des informations des capteurs proprioceptifs. En intégrant les accélérations longitudinale et latérale, et la vitesse de lacet, on peut reconstruire le déplacement du véhicule entre deux instants d'échantillonnage t_k et t_{k+1} . De plus, on dispose aussi d'informations concernant la vitesse de rotation des quatre roues du véhicule (signaux utilisés par le système ABS). L'intégration de ces données permet aussi de reconstruire le déplacement longitudinal. Il est possible de fusionner ces différentes données pour améliorer la qualité de la reconstruction du mouvement. Pour l'instant, nous avons principalement utilisé les informations concernant les vitesses des roues en contexte route et autoroute, et les informations d'accélération en ville et carrefour.

La structure globale du système de fusion temporelle de données est représenté figure 6.

Cette architecture originale à base de cartes permet de résoudre chaque problème (retard sur les données, non-monotonie

du système de perception, présentation adaptée des données) indépendamment des autres.

5. La fusion numérique/symbolique

Comme cela a été présenté dans le paragraphe 3, chaque objet est typé et donc appartient à une classe d'objets. Pour chacune de ces classes, on a associé des caractéristiques ou des attributs qui peuvent être géométriques, physiques ou comportementales. L'utilisation de données symboliques permet de faciliter la compréhension, le diagnostic et donc d'effectuer une analyse plus fine de la situation.

Lorsqu'un objet est vu pour la première fois (la mise en correspondance avec les objets connus a échoué), il faut reconnaître la donnée numérique en lui associant un type symbolique. Cette reconnaissance est faite en comparant les propriétés de l'objet vu avec celle du type étudié. Lorsqu'un objet est reconnu, on peut vérifier que son comportement est cohérent par rapport à sa classe. Enfin, lorsqu'un objet est connu (il a été vu et reconnu précédemment), et n'est pas vu, on peut tenter d'expliquer sa disparition en extrapolant son comportement. Le rôle du système de fusion numérique/symbolique est résumé en quelques points :

- **Filtrage des données** : les données ne correspondant pas au concept symbolique associé peuvent être éliminées (ou tout au moins prises en compte avec précaution).
- **Calcul d'indice de fiabilité** : on calcule, pour chaque donnée, un indice évaluant la réalité effective de l'élément observé.
- **Gestion des événements** intervenant sur les données des capteurs : ceux-ci provoquent une modification du fonctionnement du système de fusion qui doit être gérée.
- **Classification symbolique** des données numériques : celle-ci est particulièrement utile aux systèmes de diagnostic ou de contrôle qui utilisent les données.
- **Limitation de l'imprécision** sur les données : le fait de connaître les comportements possibles d'un objet permet de limiter l'imprécision sur les données.

Nous présentons ici comment la fusion symbolique a été développée dans le démonstrateur ProLab2.

Ces données sont ensuite utilisées par le système de copilote et particulièrement par le module d'analyse de situation [18].

5.1. FILTRAGE DES DONNÉES

Les capteurs sont en général spécialisés dans l'observation d'obstacles typés, par exemple, l'ensemble télémètre + caméra détecte les véhicules et camions [10], les caméras linéaires sont spécialisées dans la détection d'obstacles déformables (cyclistes, piétons, animaux) [11]. On valide la réalité de l'objet perçu

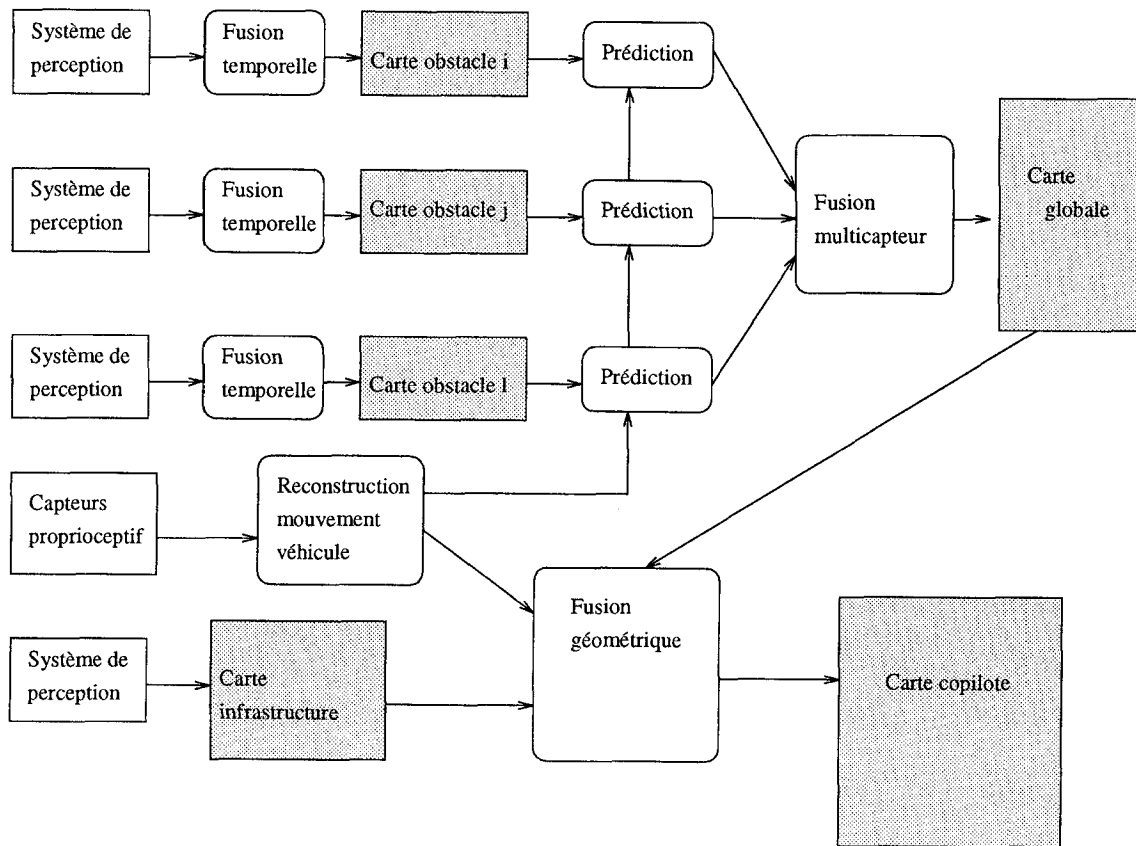


Figure 6. – Structure globale du système de fusion.

en s'assurant qu'il vérifie bien les propriétés de sa classe. Par exemple, les informations concernant la *carte infrastructure* sont la situation (position, orientation) d'éléments de signalisation horizontale (bande stop, ligne blanche). Un certain nombre de propriétés sont liées à ces éléments : des lignes blanches ne s'intersectent pas, les lignes de délimitation de voie sont plutôt verticales dans l'image, les bandes de stop sont plutôt horizontales... On peut aussi vérifier la cohérence entre informations provenant de deux capteurs. Par exemple, lorsqu'un obstacle est détecté, on vérifie sa position sur l'infrastructure routière. Si une donnée symbolique de type véhicule est définie comme se déplaçant sur la chaussée, on peut alors ignorer les obstacles hors de l'infrastructure routière.

5.2. GESTION DES ÉVÉNEMENTS

La fusion symbolique permet de gérer la structure des cartes lors d'apparition d'événements particuliers. Dans ProLab2, ces événements sont l'apparition ou la disparition d'obstacles dans l'environnement du véhicule ou dans la zone d'observation d'un capteur. Parfois, la mise en correspondance entre les obstacles perçus (transmise par le capteur i) ne correspond pas à la liste des obstacles connus (carte obstacle- i), des obstacles peuvent être vus

et non connus, ou connus et non vus. Grâce à un raisonnement logique sur la situation, le système de fusion symbolique modifie la structure des cartes et donc les listes des objets connus. Le raisonnement est fait à partir de tests sur dernière position et l'évolution probable. Nous avons développé un système à base de règles permettant de gérer les cartes. Nous présentons ici un exemple de situation qui peut survenir.

Soit la situation représentée sur la figure 7 à l'instant t_1 . Le capteur 1 voit deux obstacles. Deux objets sont donc créés dans la carte capteur 1 et dans la carte globale. A l'instant t_2 représenté figure 8, l'obstacle 1 disparaît de la zone d'observation du capteur 1 et entre dans la zone aveugle. Il est donc éliminé de la carte capteur 1 et entre dans la zone aveugle. Il est donc éliminé de la carte capteur 1 mais reste dans la carte globale car il est toujours dans l'environnement proche du véhicule. Par contre, l'obstacle 2 est éliminé de la carte capteur, mais aussi de la carte globale car il s'est fortement éloigné. Enfin, un nouvel obstacle est apparu (il n'a été mis en correspondance avec aucun autre). On crée donc un nouvel objet dans la carte capteur 1 et dans la carte globale. A l'instant t_3 représenté figure 9, l'obstacle 1 sort de la zone aveugle et est aperçu par le capteur 2. Un nouvel objet est donc créé dans cette carte, puis il est mis en correspondance avec l'obstacle 1 de la carte globale. Un lien est donc créé entre ces deux objets.

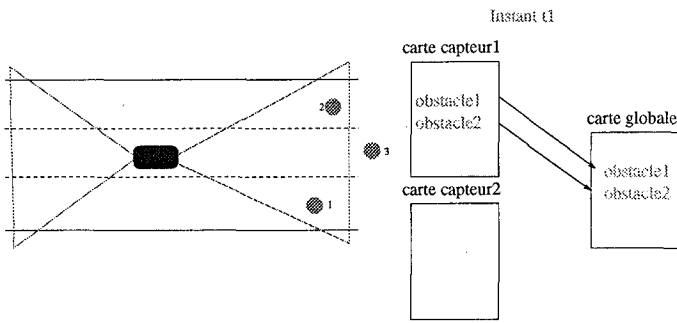


Figure 7. – Environnement à l'instant t_1 .

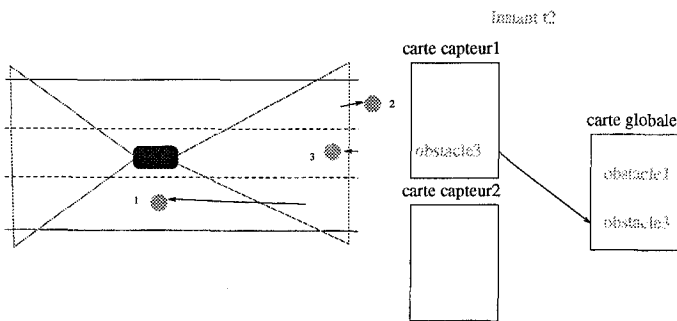


Figure 8. – Environnement à l'instant t_2 .

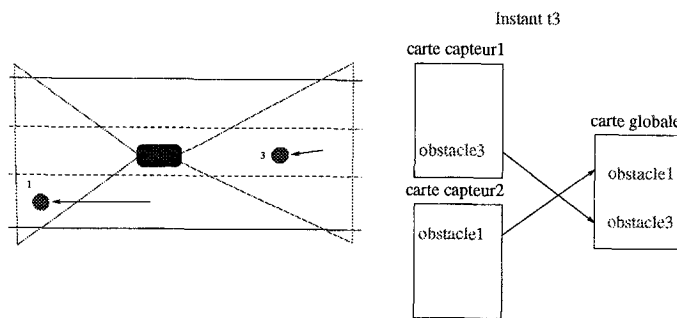


Figure 9. – Environnement à l'instant t_3 .

L'obstacle 3 est encore vu par le capteur 1 et son état est mis à jour dans la carte capteur 1 et dans la carte globale.

Dans ProLab2, le système de règles gérant les cartes est assez complexe, et nécessite de mettre en œuvre un certain nombre de tests basés sur le raisonnement géométrique.

5.3. LIMITATION DE L'IMPRÉCISION

Les obstacles appartenant à l'environnement du véhicule et qui ne sont pas perçus (zones aveugles ou obstacles occultés) voient l'imprécision sur leur position croître avec le temps. Cependant, on peut, par exemple, réduire la zone de situations probables de l'obstacle à la chaussée. De même quand l'obstacle est occulté,

l'imprécision sur sa position peut être limitée dans la zone aveugle derrière l'obstacle qui le cache. Dans ProLab2, la résolution de ce problème a été faite de façon géométrique. On a représenté figure 10 un cas où l'imprécision sur la position du véhicule dans la zone aveugle est limitée à l'ellipse englobante.

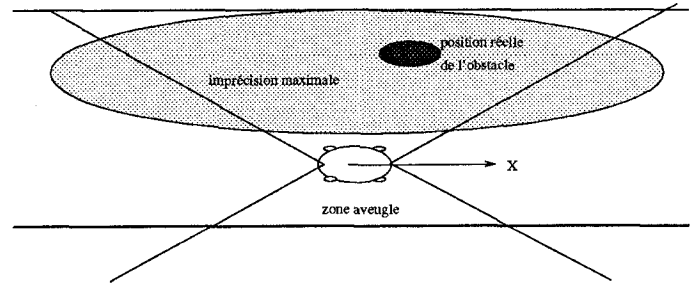


Figure 10. – Limitation de l'imprécision.

5.4. CLASSIFICATION SYMBOLIQUE

Les obstacles environnant le véhicule, c'est-à-dire les objets de la carte globale sont placés dans les zones définies par l'infrastructure comme présenté au paragraphe 4.2. Ces zones ont été définies par l'intérêt que leur porte le système de copilote. En effet, suivant les situations, il est important de connaître la voie où se situe l'obstacle. Ceci permet de prédire son comportement et donc de prévoir les situations dangereuses. Par exemple, un véhicule roulant dans le même sens que nous sur la voie de gauche doit normalement se rabattre dans les secondes qui suivront. La figure 11 présente la délimitation de zones pour une route courbe à deux voies.

5.5. CALCUL D'INDICE DE FIABILITÉ

En fonction de la cohérence de l'apparition ou de la disparition des obstacles, il est possible de définir, pour chaque obstacle connu, un indice de fiabilité qui évalue l'existence réelle de cet obstacle. Par exemple, un obstacle qui apparaît brusquement en plein milieu de la zone d'observation d'un capteur et disparaît l'observation d'après est vraisemblablement un faux obstacle. L'indice de fiabilité prend alors une valeur faible. Par contre, un obstacle qui entre dans une zone aveugle n'est plus observé, l'imprécision sur son état augmente mais cet obstacle existe toujours : son indice de fiabilité reste constant. Nous avons développé une heuristique qui permet de calculer l'indice de fiabilité, pour chaque obstacle, en fonction du nombre de fois consécutive où il a été observé et en fonction du critère de mise en correspondance de la mesure avec la donnée.

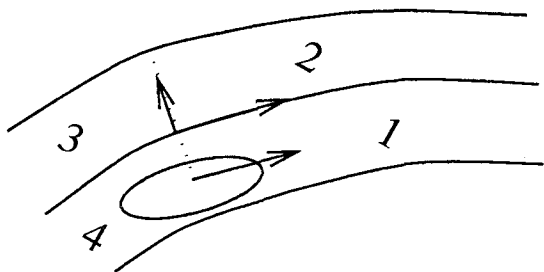


Figure 11. – Définition des zones d'intérêt.

6. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté les principes qui régissaient le système de fusion multiplicateurs qui observe l'état d'un véhicule se déplaçant dans un environnement dynamique et qui construit un modèle le plus complet et le plus fiable de la situation, en tirant au maximum profit des données provenant du système de perception. Le fait que le système évolue dans le temps nécessite de prendre en compte les contraintes temporelles et de vérifier la cohérence temporelle des données et donc de réaliser une fusion au niveau dynamique. Les données sont représentées sous forme d'objets associés à des concepts symboliques. Ceci permet de valider leur existence, de comprendre et de prévoir l'évolution de la situation. Le système est basé sur un ensemble de cartes représentant : l'état des objets perçus par un capteur, l'ensemble des objets correspondant à un même type, ou perçus par le système de perception complet. Cette décomposition en cartes règle de façon efficace les problèmes de retard sur les données, de non-monotonie du système de fusion, et de présentation adaptée des données. Ce système de fusion a été développé dans le cadre du programme Européen Prometheus, et plus particulièrement sur le démonstrateur ProLab2. Celui-ci est en effet équipé de nombreux capteurs proprioceptifs et extéroceptifs, ce qui a permis de mettre en œuvre le système de fusion développé sur des données réelles. Les informations produites sont ensuite utilisées par copilote électronique pour aider en temps réel le conducteur dans son action de conduite. Le démonstrateur a été présenté en octobre 1994 au Board Member's Meeting de Prometheus.

Remerciements

Ce programme est supporté conjointement par les constructeurs automobiles PSA et RENAULT, par le CNRS et par le Ministère Français de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur, dans le programme Européen Eureka Prometheus.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] S.C.A. Thomopoulos, *Data Fusion System Design and Proposed Action Lines*. Journée thématique «Fusion d'informations d'origine image», DGA, 9 décembre 1993.
- [2] S.C.A. Thomopoulos, *Sensor integration and data fusion*. SPIE vol. 1198 Sensor FusionII : Human and Machine Strategies, 1989, pp. 178-191.
- [3] F. Nashashibi, P. Fillatreau, B. Dacre-Wright, T. Simeon *3-D Autonomous Navigation in a Natural Environment*. In Proc of 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, California, May 8-13, 1994, pp. 433-439.
- [4] A. Kosaka, M. Meng, A.C. Kak, *Vision-Guided Mobile Robot Navigation Using Retroactive Updating of Position Uncertainty*. Robot Vision Laboratory, Perdue University. Proceeding of the 1993 IEEE International Conference on Robotics and Automation, Atlanta USA, May 1993, Vol 2, pp. 1-7.
- [5] M. Mariton, *Fusion de capteurs : application à la poursuite de cibles manœuvrantes*. Journée thématique : Fusion d'information d'origine image. 9 décembre 1993, DGA.
- [6] Y. Pollet, *Une approche pour la représentation de situations opérationnelles dans les systèmes de fusion*. Quatrièmes journées nationales sur Les applications des ensembles flous, Lille, octobre 1994.
- [7] D. Berschandy, *Comparaison des approches classiques et neuronales dans l'architecture d'un système d'intelligence artificielle embarquée. Application à la détection temps réel de danger automobile*. Thèse soutenue à l'Université de Paris Sud, 1993.
- [8] M. Rombaut, *ProLab2 : a driving assistance system*. In 1993/IEEE Tsukuba International Workshop on Advanced Robotics, Tsukuba, Japan, 8-9 november 1993, pp. 97-101.
- [9] G. Malaterre, H. Fontaine and P. Van Elslande, *PROMETHEUS, analyse of driver needs using accident report and a priori evaluation of PROMETHEUS functions*. Technical report, Prometheus office, c/o Daimler-Benz, Postfach 60 02 02, D-7000 Stuttgart 60, August 1992.
- [10] F. Collange, J. Alizon, J. Gallice and L. Trassoudaine. *A camera Telemeter Multisensory System for obstacle Detection and Tracking*. In Intelligent Vehicle Highway systems, 25th ISATA Silver Jubile, Florence (Italy), 1-5 june, 1992.
- [11] J.C. Burie and J.G. Postaire, *Linear stereovision by edge matching using dynamic programming for obstacle detection*, IEEE Intelligent vehicles symposium, Tokyo, Japan, 1993.
- [12] A. Bellon, J.P. Derutin, F. Heitz, Y. Ricquebourg, *Real-time collision avoidance at road-crossings on board the Prometheus-ProLab2 vehicle*, IEEE Int. Symposium on Intelligent Vehicles, Paris, France, oct. 1994.
- [13] X. Yu, S. Beucher and M. Bilodeau, *Road Tracking, Lane Segmentation and Obstacle Recognition by Mathematical Morphology*. In Proc. Intelligent Vehicles' 92 symposium, Detroit, july 1992.
- [14] Y. Bar-Shalom and T.E. Fortmann. *Tracking and Data Association*. Academic press, 1988.
- [15] J.J. Leonard and H. Durrant-Whyte, *Applications of Multi-Target Tracking to Sonar-based Mobile Robot Navigation*, Proc. of the 29th Conf. on Decision and Control, pp. 3118-2123.
- [16] D. Hutber and S. Moison and C. Shekhar and M. Thonnat. *Perception-interpretation interfacing via multi-sensor data fusion and multi-program supervision for the ProLab2 road vehicle*, Seventh IFAC Symposium on Transportation Systems, 1994, jul, Tianjin, China.
- [17] M. Rombaut, D. Meizel. *Dynamic data temporal multisensor fusion in the Prometheus ProLab2 demonstrator*. 1994 IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Diego, California, May 8-13, 1994, pp. 3676.

- [18] N. Le Fort, D. Ramamonjisoa, D. Meizel. *Intelligent manœuvring and execution control*, Intelligent Vehicle'92, Detroit, USA, 29 juin-1er juillet 1992.
- [19] G. Bordes, G. Giraudon et O. Jamet. *Interprétation d'images aériennes guidées par une base de données cartographique*. Séminaire CNRS –

GdR134 : TDSI – GT5 "Fusion", Fusion en imagerie aérienne et satellitaire, Sophia Antipolis, 22-23 février 1994.

- [20] L. Hong, T. Scaggs. *Real-Time Optimal Multiresolutional Sensor/Data Fusion*, IEEE Robotics and Automation 93, Atlanta.

Manuscrit reçu le 18 mai 1994.

L'AUTEUR

Michèle ROMBAUT



Michèle ROMBAUT est ingénieur de l'Ecole Universitaire d'Ingénieur de Lille, option Automatique depuis juin 1982. Elle obtient sa thèse de Docteur Ingénieur en juin 1984, option Génie Electrique à l'Université des Sciences et Techniques de Lille. Elle est maître de conférence à l'Université de Technologie de Compiègne, détachée temporairement comme Chargée de Recherches au CNRS au laboratoire Heudiasyc à Compiègne (URA 817).